

Opzioni di interconnessione Apparati per Internetworking

I requisiti di velocità e di affidabilità che si hanno nelle LAN possono venire a mancare quando il numero degli elaboratori o la dimensione della LAN stessa inizia ad essere troppo grande. Diventa a questo punto indispensabile suddividere la LAN in più parti e interconnetterla con i dispositivi appositamente progettati.

Qualora le LAN da interconnettere sono tutte localizzate nella medesima area (azienda, campus, eccetera), amministrata da un medesimo soggetto (il possessore delle LAN), la loro interconnessione può essere realizzata semplicemente interponendo fra loro apparati per l'interconnessione. Esistono varie alternative al riguardo che verranno discusse nel seguito.

Quando invece le LAN o i calcolatori si trovano distribuiti su vaste aree geografiche è necessario ricorrere per l'interconnessione all'uso delle infrastrutture e dei servizi offerti dalle reti pubbliche. Anche in questo caso esistono numerose alternative dovute alla coesistenza di diverse tecnologie, frutto dello sviluppo tecnologico, così come delle diverse scelte tecnologiche effettuate dai gestori.

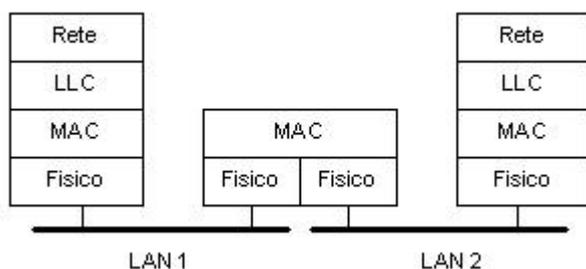
Bridge

La coesistenza di tecnologie diverse, le prestazioni limitate in caso sia di molti utenti sia di elevato traffico, la ridotta estensione geografica specialmente nel caso di LAN ad alte velocità, ha dato origine a degli apparati per l'interconnessione di LAN a livello MAC, che prendono il nome di *bridge*. L'interconnessione di LAN tramite *bridge* non ha quindi il solo obiettivo di far comunicare elaboratori posti su LAN differenti ma anche quello di permettere la creazione di LAN estese composte da più LAN realizzate con la stessa tecnologia e fra loro interconnesse. Inizialmente i *bridge* si limitavano a interconnettere due LAN, successivamente l'evoluzione della topologia da *bus* a stella ha favorito la nascita di *bridge* multiporta come centro stella, che diventano dei veri e propri commutatori (*switch*).

I *bridge* operano al sottolivello MAC del livello *data link* e uniscono segmenti di LAN. Le LAN da unire possono essere omogenee, ossia hanno lo stesso MAC, o eterogenee, MAC differenti, ad esempio *token ring* e *ethernet*. Gli algoritmi di instradamento che utilizzano sono molto semplici, e vengono usati principalmente in ambito locale. L'utilizzo di *bridge* porta ad un aumento della banda complessiva, grazie alla segmentazione della LAN, inoltre aumenta anche la portata geografica della LAN stessa.

Il *bridge* ha quattro funzioni principali:

- la ricezione dei pacchetti;
- l'eventuale traduzione da un formato di sottolivello MAC ad un altro;
- il filtraggio dei pacchetti sulla base dell'indirizzo tenendo conto sia della posizione della destinazione sia delle indicazioni del gestore, che possono anche riguardare l'indirizzo della sorgente ed il tipo di protocollo;
- la ritrasmissione dei pacchetti.



Esistono due tipi di *bridge* che si differenziano all'atto di inoltrare i pacchetti: *transparent bridge* (standard IEEE 802.1D) e *source routing bridge* (deriva dal *token ring*).

Transparent bridge

Lo standard IEEE 802.1D deriva architetturalmente dai primi *bridge ethernet*. Il *transparent bridge* gestisce direttamente le tabelle di instradamento, che risiedono in una sua memoria locale. Questi *bridge* sono del tutto invisibili alle stazioni appartenenti alle LAN interconnesse, e non necessitano quindi di alcuna riconfigurazione quando la rete modifica la sua topologia.

Un *transparent bridge* opera in questo modo:

- monitora tutto il traffico;
- verifica gli indirizzi di origine e destinazione di ciascun pacchetto;
- costruisce una tabella di instradamento man mano che le informazioni sono disponibili.

Se la destinazione del pacchetto non è elencata nella tabella di instradamento, il *bridge* inoltra i pacchetti a tutti i segmenti. Se la destinazione è elencata nella tabella di instradamento il *bridge* inoltra i pacchetti a quel segmento (a meno che non si tratti del segmento stesso di origine).

Source routing bridge

Deriva dai *bridge* della rete *token ring*. Non presenta tabelle di *routing* locali come nel caso del *transparent bridge*, bensì richiede che siano le stazioni a mantenere le tabelle di *routing* e scrivano nel pacchetto la sequenza delle LAN da attraversare. Quando una stazione deve imparare l'instradamento verso un'altra stazione invia un pacchetto di *route location*.

Translating Bridge

Translating bridge vengono utilizzati quando si devono interconnettere due segmenti di LAN di tipo differente, ad esempio *token ring* e *ethernet*. Questi *bridge* hanno le due interfacce di tipo differente, inoltre hanno il compito sia di tradurre il formato della trama, sia di adattarsi al *data rate* delle due architetture.

Switch

Gli *switch* sono dei dispositivi di rete ad alte prestazioni con funzionalità di inoltrare i pacchetti realizzata al livello *hardware*. Questi dispositivi si sono evoluti dai *router* ad alte prestazioni. Il principio di funzionamento degli *switch* è stato applicato ai *router*, è possibile pertanto trovare degli *switch* che operano sia a livello MAC sia a livello di rete.

Se ogni porta dello *switch* ha una sola stazione connessa, fra le stazioni direttamente connesse allo *switch* non esiste più la condivisione del mezzo, le collisioni avvengono solo per ricezioni e trasmissioni contemporanee e lo *switch* si comporta come un commutatore tra stazione sorgente e

stazione ricevente.

Le tecniche di attraversamento di uno *switch* sono:

- *store and forward* (immagazzinamento e rilancio); è quella utilizzata dai *bridge* (prevista da IEEE 802.1d), il pacchetto viene ricevuto interamente e poi ritrasmesso;
- *cut through* o *on the fly switching*; la decisione di inoltra viene presa durante il transito del pacchetto nello *switch*; i tempi di latenza sono molto bassi (40-60 microsecondi) perché quando lo *switch* legge l'indirizzo di destinazione decide la porta di uscita;
- *fragment free*; prima di iniziare a ritrasmettere il pacchetto si aspetta comunque un tempo pari alla *collision window* (51.2 millisecondi).

Le tecniche *cut through* e *fragment free* possono essere utilizzate solo se su tutte le porte è presente lo stesso tipo di MAC, se tutte le porte hanno la stessa velocità trasmissiva, se la porta di destinazione è libera infine se il pacchetto non è *broadcast* o *multicast*, altrimenti si ricorre allo *store and forward*. Per i pacchetti corti i tre metodi sono equivalenti, in più con velocità elevate (100 Mb/s o 1 Gb/s), la latenza dello *store and forward* è comunque molto piccola. C'è da notare che il *cut through* inoltra anche i frammenti di collisione.

Lo *switch* di tipo *store and forward* opera come se fosse un *bridge* multiporta ad alte prestazioni. Può interconnettere MAC diversi e può operare a velocità diverse, non inoltra pacchetti contenenti errori poiché controlla il CRC infine non inoltra i frammenti di collisione.

Router

I *router* sono i dispositivi di interconnessione di LAN che lavorano a livello di rete. Sono adeguati a gestire topologie anche molto complesse. Non propagano incondizionatamente traffico *broadcast* o *multicast*. Permettono un *routing* gerarchico suddividendo le reti in aree.

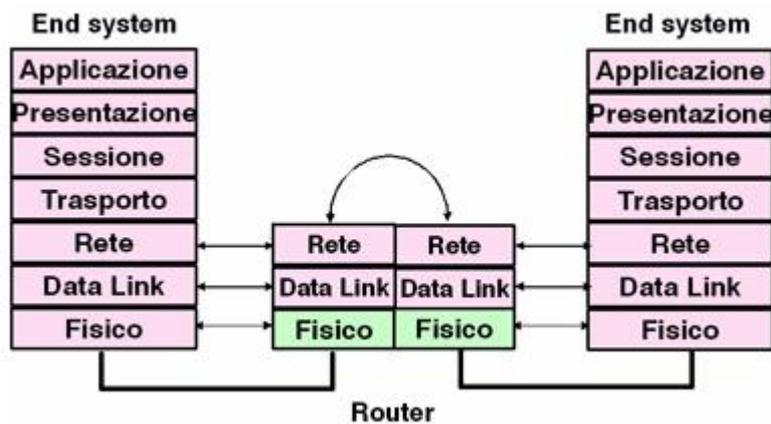
Le differenze tra *router* e *bridge* stanno nei seguenti punti:

- indirizzamento; i *router* sono indirizzati esplicitamente, i *bridge* sono trasparenti ai nodi;
- calcolo instradamento; i *router* ricevono ed usano molte informazioni, mentre i *bridge* usano solo gli indirizzi di mittente e destinatario di livello *data link*;
- pacchetti/frame; i *router* operano su pacchetti di livello di rete e possono dividere o riunire i messaggi per adattarli a reti con lunghezze massime diverse. I *bridge* non possono modificare i campi dati;
- *feedback*; i *router* possono fornire informazioni sullo stato della rete all'utente finale;
- *forwarding*; i *router* ritrasmettono i messaggi cambiando gli indirizzi di livello 2;
- *priority*; i *router* possono utilizzare priorità;
- *security*; i *router* possono realizzare tecniche di *firewall*, ossia di protezione.

Un *router* è un apparato per commutazione di pacchetto in grado di operare interconnessione di reti locali e geografiche che adottano diversi standard di comunicazione (*router* multiprotocollo). In particolare i *router* IP realizzano l'instradamento di pacchetti IP fra sottoreti di natura diversa ed implementano algoritmi di *routing* (statico o dinamico) necessari a realizzare comunicazioni *any_IP_address-to-any_IP_address*.

Un *router* con funzioni di interconnessioni fra due LAN riceve un pacchetto dalla sua scheda LAN o WAN. La scheda verifica se il pacchetto sia destinato al *router* (condizione vera nei collegamenti punto-punto, ma da verificare con gli indirizzi MAC nelle LAN) e in caso affermativo lo passa al processo *software* di *forwarding*.

Il processo di *forwarding*, consultando la tabella di instradamento determina la linea fisica di uscita sulla quale dovrà proseguire il pacchetto.



Molto spesso nei *router* le funzionalità non comprendono soltanto l'instradamento dei pacchetti di utente, ma anche l'implementazione di uno o più protocolli ausiliari legati al problema del *neighbour greetings* (legato alla conoscenza che un *router* dovrebbe avere sullo stato delle macchine collegate alla stessa LAN).

L'accesso alle reti pubbliche

Il modo più immediato per ottenere un servizio di trasmissione dati in ambito geografico è quello di sfruttare un comune canale telefonico tramite un dispositivo denominato modem che consente di convertire l'informazione in forma digitale trasmessa da un *computer* o da un terminale in un formato tale da poterla inviare attraverso un canale telefonico progettato per la trasmissione della voce. Ovviamente in ricezione un dispositivo analogo effettuerà la conversione inversa.

La trasmissione dati attraverso linee telefoniche, detto anche accesso *dial-up*, è ancora oggi ampiamente utilizzata, in virtù della sua flessibilità e di continui sviluppi tecnologici degli apparati, quali appunto i modem. Le linee telefoniche sono linee commutate che, grazie alla enorme diffusione della rete telefonica, permettono di raggiungere qualsiasi altro utente raggiungibile con il telefono.

In realtà, non sempre una connessione *dial-up* offre un servizio di comunicazione soddisfacente. Esistono quindi numerose alternative frutto dello sviluppo delle tecnologie di trasmissione di commutazione. Nel seguito verranno descritte alcune delle soluzioni più significative.

Accesso Dial-Up

La connessione *dial-up* è realizzata tramite una normale chiamata telefonica. Il costo corrisponde a quello di una normale telefonata a voce. Tale tipo di connessione è anche indicato con RTC (Rete telefonica Commutata) o come connessione su linea commutata. Di fatto, il numero di telefono che si compone consente di connettersi a qualunque calcolatore connesso anch'esso alla rete telefonica. Generalmente si utilizza l'accesso *dial-up* per collegarsi al *server* di un *Internet service provider* che vende il servizio di accesso ad Internet.

Ovviamente sul terminale remoto da cui si vuole effettuare l'accesso si dovrà specificare, oltre al numero telefonico suddetto, anche il protocollo di comunicazione di livello due che verrà utilizzato durante la connessione. Tipicamente le scelte possibili sono fra il protocollo SLIP (*Serial Link Internet Protocol*), ormai di vecchia concezione e fra il più recente PPP (*Point to Point Protocol*).

Sarà necessario poi specificare gli indirizzi IP e del *server* DNS che identificano il *service provider* attraverso il quale è possibile realizzare la connessione. Tipicamente per le connessioni *dial-up* effettuate al fine di connettersi alla rete Internet tali informazioni d'indirizzo sono fornite

automaticamente, in fase di connessione, dal *service provider*.

Le ultime informazioni da specificare per completare l'interconnessione riguardano la procedura di autenticazione nella quale è necessario precisare il nome d'utente e la relativa *password* registrati dal *service provider* e che permettono di accedere a tutti i servizi da forniti sulla base del contratto stipulato fra utente e fornitore stesso.

I servizi di *dial-up* offrono un metodo *cost-effective* per la connettività attraverso le WAN. Due metodi abbastanza popolari di implementazioni *dial-up* sono:

- *Dial-on-Demand Routing* (DDR);
- *dial backup*.

La tecnica DDR fa sì che un *router* possa dinamicamente iniziare e chiudere una sessione di circuito commutato alla richiesta di trasmissione di una stazione. Un *router* viene configurato stimando un determinato traffico interessante (come ad esempio quello relativo ad un particolare protocollo) ed altro determinato traffico non interessante.

Ogni qualvolta il *router* riceve traffico interessante destinato ad una rete remota, verrà stabilito un circuito ed il traffico sarà trasmesso normalmente. Se il *router* riceve traffico non interessato ed il circuito è già stabilito, anche questo traffico sarà normalmente trasmesso. Il *router* gestisce un *idle timer* che verrà azzerato solo quando sarà ricevuto traffico interessato. Se il *router* non riceve traffico interessato prima che scada l'*idle timer*, il circuito sarà terminato. Se riceve solo traffico non interessato e non c'è un circuito già stabilito, il *router* scarterà questo traffico.

Solo al ricevimento di traffico interessato, il *router* inizia un nuovo circuito. Il sistema DDR può essere utilizzato per sostituire i collegamenti *point-to-point* ed i servizio *switched multiaccess* WAN.

Il *dial backup* è un servizio che attiva una linea seriale di *backup* in certe specifiche condizioni. La linea seriale secondaria può agire da collegamento di *backup* utilizzato quando il collegamento primario fallisce o come fonte di larghezza di banda aggiuntiva quando il carico sul collegamento principale risulta eccessivo. Il *dial backup* fornisce protezione contro la degradazione delle performance WAN.

Public switched telephone network (PSTN) - Rete telefonica pubblica

La rete telefonica PSTN nasce con l'obiettivo di trasferire informazioni di natura vocale. Viene utilizzato un canale con banda passante inferiore ai 4 KHz, in particolare si usa la banda che va dai 400 Hz ai 3400Hz.

Per trasferire dati sulla linea PSTN si utilizzano dei dispositivi che operano una modulazione, chiamati modem (modulatori-demodulatori). Per permettere una comunicazione *full duplex* si è suddivisa la banda passante in due parti. In fase di trasmissione il modem converte il flusso numerico proveniente dall'elaboratore in un segnale analogico adatto per transitare sulle linee PSTN e lo trasmette, mentre in fase di ricezione campiona il segnale ricevuto e ricostruisce il flusso informativo, passandolo all'elaboratore. Nel corso degli anni si sono imposti alcuni standard per la trasmissione via, e sono:

- V.21, trasmette 300 bps in modalità *full duplex*;
- V.22, trasmette 1200 bps in modalità *full duplex*;
- V.22 bis, come la V.22 ma trasmette 2400 bps in modalità *full duplex*;
- V.23, trasmette 1200 bps in modalità *half duplex* con canale di segnalazione a 75 bps, questo standard è stato utilizzato principalmente per il Videotel;

- V.29, trasmette a 9600 bps in modalità *full duplex*, viene utilizzato per i fax;
- V.32, trasmette a 9600 bps in modalità *full duplex*;
- V.32 bis, trasmette sia a 14400 bps sia a 12000 in modalità *full duplex*;
- V.34, trasmette a 28800 bps in modalità *full duplex*, utilizza però 9 bit per carattere invece degli 8 utilizzati normalmente, perciò trasferisce 3200 caratteri al secondo;
- V.34+ trasmette a 33600 bps in modalità *full duplex*;
- V.90, opera fino a 56000 bps in trasmissione e 32000 bps in ricezione, però richiede che i canali fino alle centrali telefoniche siano completamente digitali (in pratica solo dalla centrale all'utente è analogico);
- V.42, standard per la correzione degli errori;
- V.42 bis, standard per la compressione dei dati da trasmettere e ricevere.

I modem utilizzano per il controllo il set di comandi *Hayes*, che è di tipo unificato, ossia vale per tutti i produttori di modem e per qualsiasi standard implementato dal modem stesso.

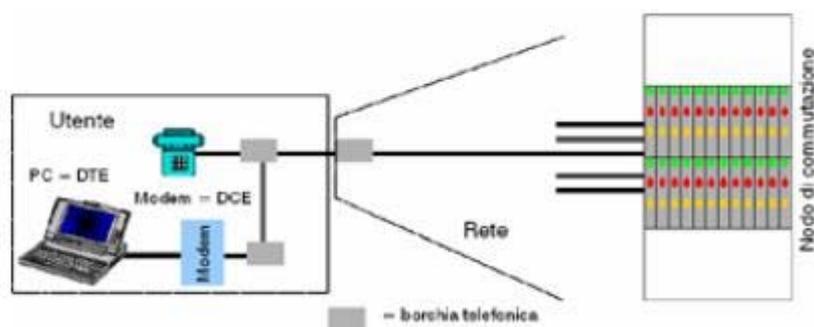
L'accesso alla rete telefonica

L'accesso alla rete telefonica è il più diffuso tipo di accesso, dal momento che il servizio telefonico è stato il primo ad essere ingegnerizzato (1892: automatizzazione della commutazione telefonica negli USA). Ad oggi, l'utente telefonico viene connesso con il nodo di rete pubblica attraverso una coppia in rame dalla borchia di impianto d'abbonato fino al nodo di centrale, in maniera dedicata. L'accesso telefonico tradizionale avviene con:

- autocommutatore analogico (superato);
- autocommutatore numerico (attuale).

e impiega una coppia in rame non schermata (doppino telefonico non schermato, UTP, *Unshielded Twisted Pair*), consentendo la trasmissione *full duplex* di segnali analogici telefonici e criteri di controllo della chiamata.

La condivisione del doppino con tecniche *duplex* è ormai superata e per nuove installazioni il gestore dispone di coppie sufficienti per collegare l'utenza individualmente. I vecchi impianti *duplex* per normativa devono continuare ad esistere almeno per ora, a meno che non ci sia una richiesta specifica dell'utente.



In relazione alla distanza (non superiore a 3 km) fra l'impianto di utente e il nodo telefonico può rendersi necessaria l'interposizione di apparati di rete, aventi funzioni trasmissive di raccolta, che riducono la distanza fra la sede di utente ed il punto di alimentazione della linea telefonica. Tali apparati (*Multiplex*) realizzano una remotizzazione di alcune funzioni del nodo di commutazione (le funzioni di attacco di utente) e vengono collocati in esterno, in cabinet o all'interno di grandi edifici residenziali e pubblici.

L'accesso commutato analogico

L'accesso commutato analogico è realizzato con un collegamento telefonico tradizionale alla Rete Telefonica Nazionale (RTN).

La linea di utente è in rame ed impiega tipicamente una coppia di conduttori da 4,5 o 6/10 mm di diametro.

La linea termina su una scheda dell'autocommutatore urbano, su cui si attestano tipicamente 8 o 16 linee utente.

Le funzioni svolte dalla scheda sono riassunte dall'acronimo BORSCHT:

- *Battery* (alimentazione microfonica da batteria di centrale);
- *Overvoltage* (protezione da sovratensioni estranee);
- *Ring* (invio della tensione di chiamata);
- *Supervision* (sensori di rilevazione di linea aperta/chiusa);
- *Coding* (conversione A/D e D/A del segnale fonico);
- *Hybrid* (passaggio da 2 a 4 fili e separazione delle vie foniche);
- *Testing* (funzioni di prova e verifica dei componenti di impianto dal posto operatore di rete).

Una delle funzioni che, per l'accesso telefonico analogico, caratterizza e limita la velocità trasmissiva è legata alla conversione analogico/numerica del segnale telefonico.

Il processo di conversione del segnale a qualità telefonica presuppone le operazioni di:

- filtraggio nella banda 0-4000 Hz;
- campionamento del segnale filtrato ad una frequenza pari a 2x4000 Hz;
- quantizzazione di ciascuno degli 8000 campioni/s ottenuti tramite una griglia di 256 quanti;
- codifica di tipo logaritmico (un numero maggiore di bit per i livelli piccoli, un numero minore di bit per i livelli grandi);

Il filtraggio limita la velocità di modulazione per un modem che sia chiamato a trasformare il segnale dati digitale in un segnale adatto ad essere trasmesso su un collegamento telefonico.

Tecnologie trasmissive a collegamento diretto

Il servizio offerto dalla rete telefonica è caratterizzato dal fatto che agli utenti viene messo a disposizione un collegamento fisico per tutta la durata del servizio. In tale periodo, il collegamento è indisponibile per tutti gli altri utenti della rete.

A seconda delle necessità, il collegamento fisico può essere:

- *commutato*: significa che esso viene richiesto dagli utenti a seguito di una chiamata e rimane a loro disposizione per l'intera durata della chiamata, come nell'accesso *dial-up* appena descritto;
- *dedicato*: significa che esso è predisposto in fase di configurazione degli utenti e permane a loro disposizione 24 ore su 24 (CDN, Canali Diretti Numerici).

I collegamenti dedicati possono essere distinti in due categorie:

1. CDA - Collegamento Diretto Analogico;
2. CDN - Collegamento Diretto Numerico.

Il CDA può essere definito come il servizio di interconnessione fornito dal gestore di una rete pubblica di telecomunicazioni. Consiste nel realizzare fra due sedi dell'utente una connettività analogica permanente adatta al trasferimento di un segnale caratterizzato da una dinamica in ampiezza e frequenza prestabilite.

Le velocità di trasferimento dati vanno da 2400bps a 64000 bps. Questa tecnologia è obsoleta e viene sostituita da soluzioni più recenti. Il CDA veniva utilizzato nei centri di calcolo che necessitavano di un collegamento dedicato, quando non erano soddisfacenti le linee commutate. Con l'introduzione delle centrali numeriche i collegamenti analogici tra le centrali stesse sono stati rimpiazzati da dorsali digitali ad alta velocità.

Il CDN è un collegamento fisico permanente *full duplex*, realizzato tra due sedi del cliente mediante apparati che rappresentano la terminazione del collegamento, installati in entrambe le sedi e mediante apparati della rete trasmissiva pubblica. Equivale ad una linea diretta dedicata tra le due sedi. Viene fornito con diverse opzioni di velocità: da 2400 bit/s fino a 2048 kbit/s (volgarmente detto 2Mbit/s), per passi discreti (2.4, 4.8, 9.6, 14.4, 19.2, 48, 64, Nx64 kbit/s, con N variabile da 2 a 32). La rete trasmissiva che consente di fornire tale servizio è caratterizzata da bassi tassi di errore, alta disponibilità e possibilità di gestione da remoto; la trasmissione dati tra gli apparati disposti agli estremi del CDN è trasparente temporalmente (ritardo costante) e la rete è trasparente ai codici utilizzati.

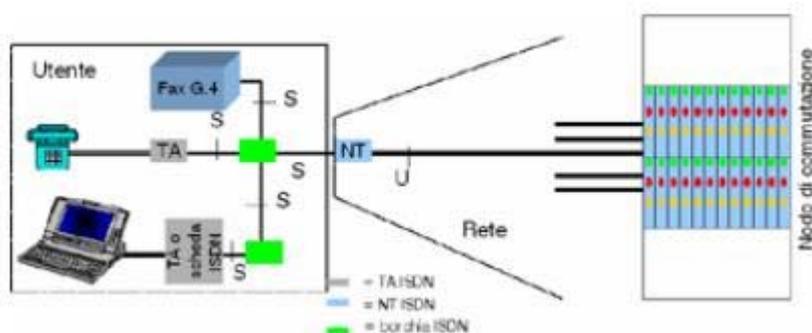
Prolungando un collegamento digitale dall'interno della centrale fino alla presa dell'utente, è stato possibile fornire un servizio completamente digitale, a velocità più elevata e minor tasso d'errore. Il CDN sfrutta la commutazione di pacchetto, pertanto con i CDN è possibile sfruttare tutto, o in parte, il flusso di dati delle dorsali inserendo all'interno delle trame utilizzate per i canali telefonici digitali il traffico degli utenti.

Integrated Services Digital Network - ISDN

ISDN rappresenta l'evoluzione delle reti commutate pubbliche analogiche. Basata sulla tecnologia digitale, offre l'integrazione di servizi di elevata qualità, quali telefonia digitale, trasmissione dati, telecontrolli e teleallarmi, fax G4, videotelefonia, attraverso un ridotto numero di interfacce standard.

La prestazione ISDN è stata sperimentata in Italia dalla fine degli anni '80 al 1994, anno in cui il servizio è stato diffuso commercialmente su scala nazionale. Ad oggi è disponibile in pratica in tutte le città italiane.

L'ISDN prevede una serie di servizi portanti (servizi di rete); uno dei più utilizzati attualmente è la connettività numerica.



Tale servizio consente ad un terminale di utente (può essere un PC dotato di opportuna scheda ISDN o di adattatore esterno) di realizzare, mediante un'opportuna procedura di chiamata e con protocolli standard (realizzati in parte dall'*hardware* della scheda e in parte dal *software* del PC) connessioni numeriche. Tali connessioni equivalgono, durante la fase di trasmissione dati (a risposta avvenuta) ad un collegamento diretto numerico tra i due *computer*.

La linea di utente è costituita da un doppino identico a quello usato per l'accesso telefonico

analogico, salvo il fatto che, sul nodo la scheda su cui termina la linea ed il *software* preposto al trattamento degli impegni hanno una maggiore complessità.

Trattandosi di uno standard internazionale per rete digitale commutata, è possibile collegarsi e usufruire di questi servizi con qualsiasi utente della rete. La rete ISDN prevede due tipi di accesso: l'accesso base BRA (*Basic Rate Access*), principalmente concepito per l'utente finale, e l'accesso primario PRA (*Primary Rate Access*), destinato a centri a loro volta erogatori di servizi, quale un centralino telefonico privato.

L'accesso base consiste in due canali a 64 Kbps (detti canali B) e in un canale dati di servizio a 16 Kbps (detto canale D).

L'accesso base prevede una velocità di trasmissione di 192 Kbps, di cui 144 utilizzati per i 2 canali B e il canale D, e i restanti 48 per informazioni di controllo e di sincronismo.

L'accesso numerico BRA (*Basic Rate Access*) ISDN su autocommutatore numerico, impiega una coppia in rame non schermata (doppino telefonico) e consente la trasmissione *full duplex* di segnali numerici (voce, video, fax, dati) e della segnalazione necessaria al controllo dei servizi commutati. Inoltre consente di collegare al *bus S* di utente fino ad 8 terminali (ciascuno con il suo numero di rete pubblica).

Per il collegamento ad utenze particolari, è previsto un altro tipo di accesso, detto accesso primario. Si tratta di un accesso a 1.544 Mbps negli Stati Uniti (23 canali B più un canale D) e a 2 Mbps in Europa (30 canali B più un canale D).

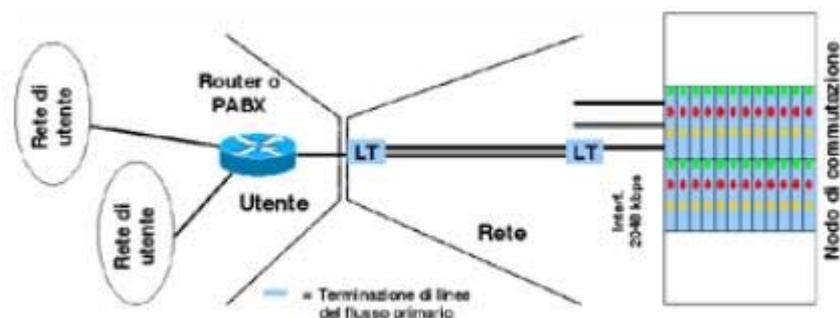
Oltre ai canali di tipo B e D, esistono anche canali di tipo H, formati dall'aggregazione di più canali B:

- H0, 384 Kbps formato da 6 canali B;
- H11, 1536 Kbps formato da 24 canali B;
- H12, 1920 Kbps formato da 30 canali B.

L'accesso numerico PRA (*Primary Rate Access*) ISDN su autocommutatore numerico, impiega due coppie simmetriche in rame, oppure due coassiali. Consente la trasmissione *full duplex* di segnali numerici (voce, video, fax, dati) e della segnalazione necessaria al controllo dei servizi commutati relativamente ai canali numerici disponibili tra sede di utente e centrale.

I canali sono numerati da 0 a 31; quelli impiegati per l'accesso ISDN sono compresi da 1 a 31, essendo il canale 0 riservato per le funzioni di allineamento di trama e di sincronizzazione fra gli apparati trasmissivi attestati agli estremi della linea fisica (lato utente e lato centrale).

Il canale 16 viene utilizzato per trasportare la segnalazione relativamente a tutti i canali assegnati (fino a 30 canali).

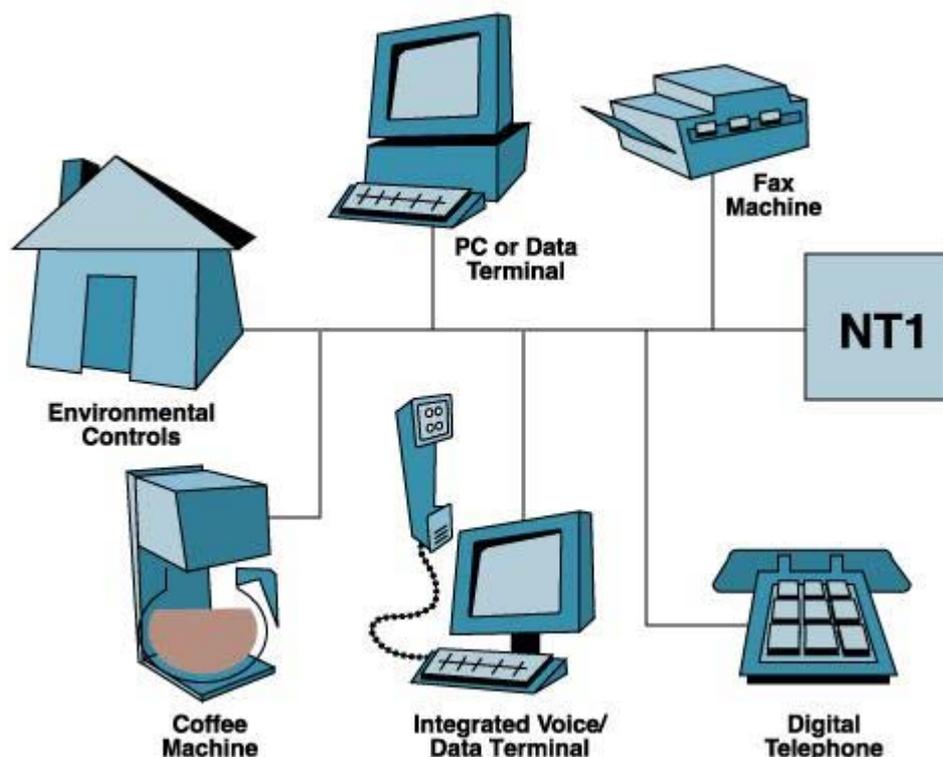


L'accesso primario generalmente termina su un centralino privato di commutazione che offre servizi

telefonici fra i derivati interni e consente a tali derivati di effettuare chiamate verso l'esterno (e accettare chiamate provenienti dall'esterno) utilizzando i canali B dell'accesso primario; l'accesso primario può terminare su un apparato dati (esempio: *router* con interfaccia primaria per un *Internet Service Provider*).

Architettura ISDN

Si può affermare che la rete ISDN (*Integrated Services Digital Network*) è una rete che, evolvendo dalla rete telefonica di tipo numerico IDN (*Integrated Digital Network*), fornisce connettività numerica da estremo ad estremo per supportare un insieme ampio di servizi applicativi, includendo servizi di fonia, dati, videocomunicazione, fax, eccetera, e alla quale gli utenti hanno accesso da un limitato numero di interfacce standardizzate (definizione tratta dalla Raccomandazione ITU-T I.110, 1998).



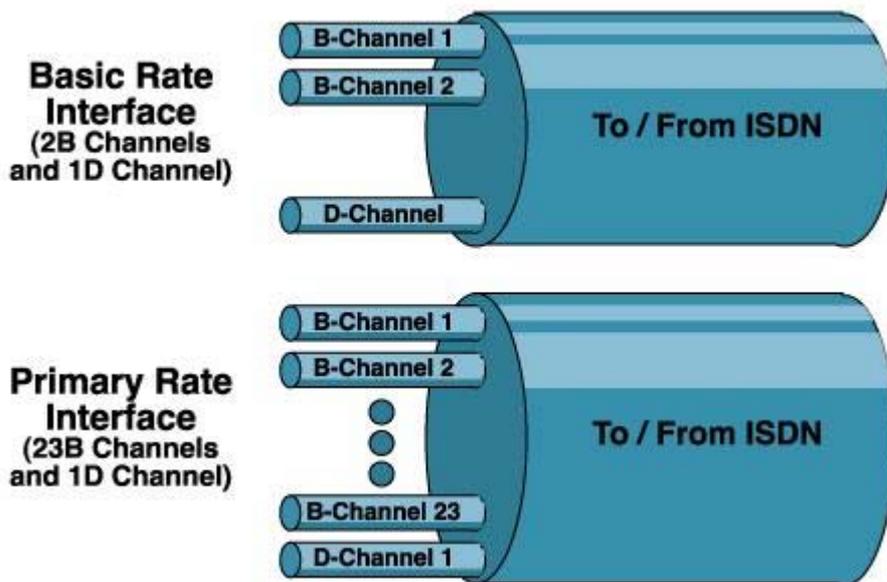
Le raccomandazioni che riguardano la rete ISDN specificano l'interfaccia dell'utente verso la rete, e non descrivono come deve essere fatta la rete. **L'interfaccia è unica e indipendente dal tipo di servizio che l'utente utilizza.**

La rete ISDN permette in generale ad un utente di accedere in modo integrato ad una molteplicità di servizi offerti da **infrastrutture di rete distinte**; si ha solo perciò un'integrazione dell'accesso a servizi offerti da varie reti, consentendo un'ottimizzazione della rete di accesso.

Interfacce d'accesso ISDN

Le interfacce utente-rete ISDN definite dall'ITU-T possono essere di due tipi:

- Interfaccia o Accesso Base, rispettivamente *Basic Rate Interface* (BRI) e *Basic Rate Access* (BRA).
- Interfaccia o Accesso Primario, rispettivamente *Primary Rate Interface* (PRI) e *Primary Rate Access* (PRA).



Una delle principali differenze tra le due interfacce riguarda il numero di canali numerici disponibili all'utente: rispettivamente 2 canali B a 64 kbit/s e 1 canale D a 16 kbit/s nel caso dell'interfaccia base e 30 canali B (23 in Nord America e in Giappone) più un canale D. Tutti i canali dell'accesso primario sono caratterizzati da una capacità trasmissiva di 64 kbit/s, anche il canale D.

Configurazioni per l'accesso base

L'accesso base è indicato per utilizzatori che necessitano di uno o più terminali ma non utilizzano grosse strutture di multiplazione proprie. Scopo di tale accesso è di fornire i vantaggi dell'ISDN senza richiedere investimenti eccessivi, per questo nella sua installazione si cerca di avere la compatibilità con le installazioni non ISDN preesistenti e quindi l'utilizzo del doppino telefonico. Si possono avere diverse configurazioni:

- La configurazione punto-punto prevede un solo terminale d'utente connesso all'interfaccia; si raggiungono distanze dell'ordine del Km e comunque fino ad una attenuazione massima di linea tra NT1 e LT di 6 dB a 96 kHz. Per il corretto funzionamento dell'interfaccia è necessario definire il ritardo massimo di propagazione di andata e ritorno del segnale da TE a NT1 e viceversa che deve essere compreso tra 10 e 42 microsecondi.
- Nella configurazione a *bus* passivo corto i TE possono essere connessi in modo casuale lungo il *bus* (fino ad 8). In questo caso il ricevitore dell'NT1 deve essere in grado di riconoscere impulsi dal TE in arrivo con ritardi differenti. Ne deriva che la lunghezza massima del *bus* è funzione del tempo di ritardo e non dell'attenuazione del cavo.
- Nella configurazione a *bus* esteso l'estensione del cavo può essere compresa tra i 100 e i 1000 metri, ma i TE devono essere raggruppati all'estremità remota del *bus* con distanza reciproca compresa tra i 25 e i 50 metri. Il rispetto di questi parametri consente di soddisfare le esigenze di installazione di utente in diverse parti del mondo.

Nelle configurazioni descritte sono sempre presenti resistenze r di terminazione per realizzare una chiusura adattata dell'interfaccia (valore $100 \pm 5\%$ Ohm).

xDSL

Il termine xDSL (*Digital Subscriber Line*) si riferisce a diversi tipi di modem che consentono accessi fino a 300 volte superiori a quelli dei normali modem analogici. Poiché xDSL funziona su linee telefoniche tradizionali e poiché le compagnie telefoniche cercano modi vantaggiosi per

fornire velocità più elevate ai propri clienti, i sistemi xDSL sono considerati come basilari per risolvere il collo di bottiglia rappresentato dall'ultimo miglio dell'infrastruttura della rete telefonica.

xDSL è principalmente una tecnologia ad elevata velocità che può essere utilizzata per trasmettere i dati di qualunque applicazione ad elevata velocità, come la videoconferenza, l'accesso veloce ad Internet, eccetera.

Per installare xDSL è necessario accedere direttamente all'infrastruttura di rete, i modem xDSL debbono essere installati ad entrambe le estremità della linea di rame (un modem deve essere piazzato presso il CPE dell'utente, mentre l'altro deve essere installato presso la centrale telefonica).

A differenza delle precedenti tecnologie di linee di rame, il sistema xDSL una volta installato non necessita di un aggiustamento manuale. Il modem xDSL analizza automaticamente la linea e adatta se stesso al fine di inizializzare il link in pochi secondi. Il processo di adattamento continua anche dopo l'inizializzazione del link, in quanto il modem compensa tutti i cambiamenti futuri. I modem contengono sofisticati algoritmi di elaborazione dei segnali digitali (DSP, *Digital Signaling Processing*) che elaborano modelli matematici delle distorsioni causate dalla linea e producono correzioni automatiche.

Per ottenere tassi di trasferimento fino a 300 volte superiori a quelli dei modem analogici, le tecnologie xDSL usano una banda di frequenze più larga. Inoltre, poiché xDSL usa un segnale digitale, a differenza dei modem analogici, le trasmissioni xDSL non passano sulla rete telefonica analogica tradizionale. Questa caratteristica di xDSL può eliminare la congestione causata dal traffico Internet.

Sono stati sviluppati diversi tipi di tecnologie xDSL, la tabella sottostante ne descrive i principali benefici:

xDSL	Downstream	Upstream	Distanza	Numero di linee telefoniche
HDSL	2 Mbit/s	2 Mbit/s	Fino a 5 Km	2
HDSL2	2 Mbit/s	2 Mbit/s		1
ADSL	Fino a 8 Mbit/s	Fino a 768 kbit/s	3.6 Km	1
ADSL II	Fino a 8 Mbit/s	Fino a 768 kbit/s	Circa 4 Km	1
RADSL	Fino a 8 Mbit/s	Fino a 768 kbit/s	Fino a 6 Km	1
SDSL	Fino a 768 kbit/s	Fino a 768 kbit/s	4 Km	1
VDSL	13, 26 o 52 Mbit/s	6 o 13 Mbit/s	Fino a 1.5 Km	1

A seguito dell'introduzione della tecnologia ISDN (che fornisce connessioni a 128 kbit/s), l'attenzione è stata rivolta allo sviluppo di tecnologie xDSL più veloci per la realizzazione di linee dati ad alta velocità (HDSL è frutto di tale sforzo), affittate dalla compagnie telefoniche ad utenze di tipo *business*. Queste tradizionali linee date in affitto operano a tassi T1 (1.54 Mbit/s) negli Stati Uniti e a tassi E1 (2 Mbit/s) in Europa.

Frame relay

Lo standard *Frame Relay*, è stato definito per fornire un accesso per la trasmissione dati di tipo commutato e di media capacità. Il *Frame Relay* prevede la separazione delle informazioni di segnalazione da quelle di utente in modo da eliminare la necessità di dover mantenere nei nodi intermedi le tabelle di stato e di dover gestire le informazioni di controllo di chiamata a livello di singola connessione. Inoltre, la moltiplicazione e la commutazione delle connessioni logiche vengono

effettuate a livello due non a livello tre, permettendo di semplificare l'architettura di rete.

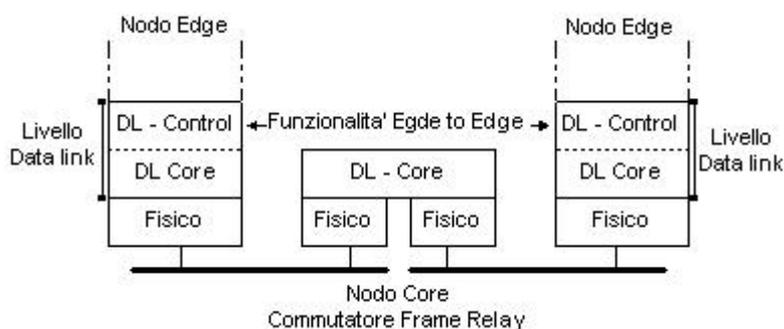
Infine, il controllo di flusso e di errore non sono applicate fra nodi successivi ma solamente, se utilizzate, a livello *end-to-end*. Proprio in quest'ultimo aspetto ha sede lo svantaggio principale dello standard *Frame Relay* in quanto rispetto all'X.25 non prevede la possibilità di effettuare un controllo di errore e di flusso orientato al singolo collegamento. In realtà questo limite può essere efficientemente superato grazie alla ormai elevata affidabilità dei dispositivi di trasmissione e di commutazione.

Il vantaggio introdotto dal *Frame Relay*, sta invece nel fatto che semplificando le funzioni protocollari sia all'interfaccia utente-rete sia all'interno della rete, si ha la possibilità di definire collegamenti caratterizzati da un minore ritardo e da un maggiore *throughput*.

Le informazioni nel *Frame Relay* sono organizzate in trame il cui formato è molto simile a quello definito per il protocollo LAPF o *core protocol*.

L'architettura protocollare necessaria per realizzare il trasporto di tali trame prevede la presenza di due piani di funzionamento separati: un piano di controllo (C) che si occupa dell'instaurazione e del rilascio delle connessioni logiche ed un piano d'utente che gestisce il trasferimento dei dati.

In particolare i protocolli del piano di controllo si collocano tra l'utente e la rete mentre quelli del piano d'utente operano a livello *end-to-end*.



Le connessioni instaurate da *frame relay* sono di tipo circuito virtuale permanente e la commutazione viene effettuata al livello *data link* (nelle reti a pacchetto la commutazione avviene al livello di rete). Funziona con un approccio *core-edge*, ossia vengono differenziati i compiti che spettano ai nodi all'interno (*core*) della rete *frame relay*, con i compiti dei nodi che appartengono al bordo (*edge*).

A livello fisico utilizza canali con velocità che vanno da 64 kbps a 2 Mbps (E1). La variabilità dei ritardi introdotti da ogni nodo della rete non rendono *frame relay* idoneo per trasmettere comunicazioni vocali.

L'accesso nella rete frame relay

Anche l'accesso alla rete *frame relay* pubblica avviene realizzando un collegamento dedicato fra l'apparato di utente ed il nodo di rete.

Tale collegamento è caratterizzato da velocità superiori rispetto ad X.25, essendo il *frame relay* una tecnica a commutazione veloce di pacchetto.

L'accesso realizzato con collegamento diretto numerico fra apparato di utente e nodo di rete, *full duplex*, e velocità di accesso possibili da 64 a 2048 kbit/s fornisce un *throughput* garantito fino a 1024 kbit/s per un singolo canale virtuale assegnato (la somma dei *throughput* di tutti i canali

virtuali non supera 1920 kbit/s). La rete non opera controllo di flusso né recupero di errori; effettua il *policing* e il controllo di congestione.

Un collegamento virtuale *frame relay* (DLC, *Data Link Connection*) di tipo permanente può interessare ai suoi estremi apparati del tipo: *host*, *bridge*, *router*, *switch*, *frad*. Il caso più frequente riguarda l'accesso alla rete *frame relay* impiegando un *router* con interfaccia *frame relay* (V.35) per realizzare l'interconnessione di reti locali di calcolatori a distanza.

Il servizio fornito dalla rete consiste in una o più connessioni virtuali permanenti fra gli apparati di accesso di utente, ciascuna da un CIR definito all'atto dell'installazione.

Il CIR (*Committed Information Rate*) fornito dalla rete *frame relay*, analogamente alla classe di *throughput* delle reti X.25, rappresenta la banda netta che la rete deve garantire alla connessione virtuale. Con il *frame relay* il DTE (per esempio un *router*) può utilizzare una banda in eccesso, (detta EIR - *Excess Information Rate*) se la capacità trasmissiva della linea è tale da consentirlo, che la rete concede e trasporta in assenza di congestione se può. Il traffico in eccesso viene marcato dalla rete e reso quindi riconoscibile rispetto a quello compreso nel CIR, al fine di scartarlo in caso di congestione, privilegiando quello non marcato.

ATM - Asynchronous Transfer Mode

ATM è un modo di trasferimento che è stato sviluppato come parte integrante della rete ISDN a banda larga (B-ISDN), ma che è stato ed è tuttora utilizzato anche in altri contesti di rete, data la sua elevata efficienza. ATM sfrutta l'affidabilità offerta dai sistemi numerici ed offre una tecnica di commutazione a pacchetto caratterizzata da servizi che possono essere sia tempo reale che *store&forward*.

Le informazioni sono organizzate in celle di lunghezza costante (5 *byte* di intestazione più 48 *byte* di campo informativo), dove le informazioni relative all'identificazione della comunicazione sono contenute nell'intestazione. Le celle sono assegnate su domanda, in dipendenza delle caratteristiche del traffico della connessione.

Per il trasporto di traffico ATM, è necessario definire una tecnologia trasmissiva che sia compatibile col formato dei dati previsto da questo protocollo. In tal senso, una possibile alternativa consiste nell'utilizzo di una tecnica di sincronizzazione orientata alla cella in base alla quale l'interfaccia trasmissiva invia un flusso continuo di celle senza ricorrere ad una moltiplicazione dei dati orientata alla trama.

Il modello di riferimento del protocollo ATM suddivide la struttura in tre strati:

- strato fisico (*physical layer*); in questo strato sono contenute le funzioni relative all'adattamento del flusso informativo alle caratteristiche del mezzo trasmissivo e alla trasmissione delle informazioni;
- strato ATM (*ATM layer*); contiene sia le funzioni comuni a tutti i tipi di informazioni, che le funzioni riguardanti il trattamento dell'intestazione delle celle;
- strato di adattamento (*adaptation layer*); in questo strato sono presenti le funzioni dipendenti dal particolare tipo di informazione da trasferire e riguardanti l'adattamento tra sezioni di rete ATM e non-ATM, ed anche le funzioni riguardanti il trattamento del campo informativo delle celle.

Il livello di adattamento presente in ATM è necessario per garantire l'utilizzo di protocolli per il trasferimento dei dati che non sono necessariamente basati su ATM.

Tale strato ha, infatti, il compito di inserire le informazioni degli utenti in unità dati di 48 *byte* che vengono poi inseriti nelle celle ATM. Si può intuitivamente comprendere come tale operazione possa prevedere operazioni di aggregazione e di segmentazione di bit al fine di rispettare il formato

dell'unità dati ATM

Le velocità di trasmissione dell'ATM sono di 155.520 Mbps, 622.080 Mbps e 2488.080 Mbps. Sono definite due tipologie di interfacce tra l'utente e la rete, una è orientata alla trama, dove le celle ATM vengono mappate all'interno di trame SDH, l'altra è orientata alle celle, ed il flusso è formato da celle ATM una di seguito all'altra. I dati viaggiano lungo dei canali virtuali, che possono essere permanenti (*Permanent Virtual Connection*) o commutati (*Switched Virtual Connection*).

La rete ATM elabora le celle solo per la parte di etichetta, risultando completamente trasparente al *payload* (salvo il caso di celle che trasportino informazioni di segnalazione o di gestione), errori compresi.

I servizi di rete che ATM può fornire sono raggruppati in categorie (in ambito ITU sono chiamate *Transfer Capabilities*; in ambito ATM Forum sono denominate *Service Categories*); ciascuna categoria è stata definita per classi di applicazioni. Le categorie di servizi sono:

- CBR (*Constant Bit Rate*, adatta ad applicazioni che richiedono alla rete ATM ritardi praticamente costanti, come la voce, il video, e l'*internetworking* di centralini telefonici privati/pubblici);
- VBR (*Variable Bit Rate*, adatta alla trasmissione dati, sensibile particolarmente alla perdita di celle ed alla qualità del trasporto, come tasso di errore del *payload* di celle, ma non sensibile particolarmente al ritardo);
- ABR (*Available Bit Rate*, una categoria abbastanza complessa che consente al dispositivo ATM di utente di richiedere più banda, in relazione alle esigenze delle applicazioni dati, relativamente alla connessione virtuale attiva.

Le connessioni virtuali che fornisce una rete ATM sono, nella maggior parte delle reti pubbliche nel mondo (Italia compresa), di tipo permanente, quindi vengono predisposte su base contrattuale senza procedure di segnalazione fra elementi della rete.

L'accesso realizzato con collegamento diretto numerico fra apparato di utente e nodo di rete, *full duplex*, e velocità di accesso possibili 2048 kbit/s, Nx2048 kbit/s, 34 Mbit/s, garantisce un molteplicità di classi di servizio (per dati, voce, video) e *throughput* adeguati alle esigenze di banda dell'utente.

La trasmissione, come in *Frame Relay*, è di tipo non riscontrata: la rete non opera controllo di flusso né recupero di errori; effettua il *policing* e il controllo di congestione.

Connessioni ATM

Le connessioni ATM sono denominate *VIRTUAL CHANNEL CONNECTION*, VCC e rappresentano l'elemento fondamentale della commutazione ATM.

Si tratta essenzialmente di un circuito virtuale analogo a quello della rete X.25 che viene stabilito fra due utenti terminali della rete e che permette lo scambio di dati a flusso variabile *full duplex* sottoforma di celle di dimensione fissa. Le VCC sono utilizzate per la gestione delle informazioni di segnalazione all'interfaccia utente-rete, per la gestione effettiva della rete e per l'instradamento.

ATM prevede un ulteriore livello di astrazione applicato al concetto di canale virtuale che si concretizza nella definizione del concetto di connessione a percorso virtuale, *VIRTUAL PATH CONNECTION*, VPC. Di fatto una VPC, può essere intesa come un fascio di VCC, caratterizzate dagli stessi punti terminali e quindi tali per cui tutte le celle di tale fascio vengono commutate assieme.

L'introduzione del concetto di percorso virtuale è legata al fatto che essa permette di ridurre i costi legati alle operazioni di controllo nelle reti ad alta velocità, dato che raggruppando le connessioni che condividono lo stesso percorso all'interno della rete, si ha la possibilità di ridurre sensibilmente

le operazioni di gestione che di fatto saranno definite solo per un sottoinsieme di gruppi di connessioni, invece che su un elevato numero di connessioni singole.

Come conseguenza di tale organizzazione si ha innanzi tutto una notevole semplificazione delle funzioni di trasporto che possono essere suddivise in due gruppi distinti, uno associato ai canali virtuali e l'altro ai percorsi virtuali.

Inoltre, l'aggregazione che caratterizza tale modo di trasferimento consente un aumento delle prestazioni e dell'affidabilità della rete dato che la rete deve occuparsi della gestione di un numero minore di entità.

L'attivazione di nuove connessioni è realizzata grazie a semplici operazioni di gestione esclusivamente nei punti terminali della rete, senza richiedere di fatto alcuna elaborazione in fase di instaurazione ai nodini transito. Ciò si ripercuote positivamente sui tempi di elaborazione e di instaurazione della connessione che sono in tal modo estremamente ridotti.

Infine l'organizzazione in percorsi virtuali permette all'utente terminale di avere una diretta visibilità del percorso stesso che può essere gestito in modo da migliorare i servizi offerti dalla rete in relazione alle esigenze di qualità richieste dall'utente stesso.

La definizione di una connessione a canale virtuale è in prima istanza subordinata all'esistenza di una connessione a percorso virtuale fra i terminali di rete cui si fa riferimento. In secondo luogo, pur ammettendo la presenza di una connessione VPC, per attivare la connessione a canale virtuale VCC, deve poter essere soddisfatta la qualità di servizio richiesta; in caso contrario la richiesta di attivazione non viene soddisfatta.